

DE 40 03 060

File 351:Derwent WPI 1963-2001/UD,UM &UP=200115  
(c) 2001 Derwent Info Ltd

?s pn=de 4003060  
S3 1 PN=DE 4003060  
?t s3/23/1

3/23/1  
DIALOG(R)File 351:Derwent WPI  
(c) 2001 Derwent Info Ltd. All rts. reserv.

008735096 \*\*Image available\*\*

WPI Acc No: 1991-239112/199133

XRPX Acc No: N91-182300

Single-stage, low-noise, low temp. amplifier - has magnetoresistive  
amplifier coupling coil linked in parallel, or series, to two-contact  
SQUIDS

Patent Assignee: FR-SCHILLER-UNIV JENA (UYJE )

Number of Countries: 001 Number of Patents: 001

Abstract (Basic): DE 4003060 A

The highly sensitive amplifier consists of DC, or DC voltage fed,  
two-contact SQUID, behind which is linked a magnetoresistive amplifier  
with an input coupling coil. The latter is coupled in parallel or in  
series to the two contact SQUID. Pref. the coil has a definite  
resistance.

A resistor in a further low temp. branch may be variable. For this  
purpose are used superconductive switches with different critical  
currents. Thermal, optical, or magnetic effects may be also used.  
Proportional or integral current amplification may be used.

USE/ADVANTAGE - For measuring small currents, voltages or magnetic  
fields, without feedback and noise suppression circuits. (4pp  
Dwg.No.1/1)

Title Terms: SINGLE; STAGE; LOW; NOISE; LOW; TEMPERATURE; AMPLIFY;  
MAGNETORESISTIVE; AMPLIFY; COUPLE; COIL; LINK; PARALLEL; SERIES; TWO;  
CONTACT

Derwent Class: S01; S05; U14; U24

International Patent Class (Additional): G01N-027/72; G01R-033/03;  
H01L-039/22; H03F-001/38; H03F-015/00; H03F-019/00

①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 40 03 060 A 1**

⑳ Aktenzeichen: P 40 03 060.1  
㉔ Anmeldetag: 2. 2. 90  
㉕ Offenlegungstag: 8. 8. 91

㉑ Int. Cl.<sup>5</sup>:  
**H 03 F 19/00**  
H 03 F 15/00  
H 03 F 1/38  
G 01 N 27/72  
G 01 R 33/035  
H 01 L 39/22  
// G 01 V 3/40, A 61 B  
5/04, G 01 R 33/12

DE 40 03 060 A 1

㉑ Anmelder:  
Friedrich-Schiller-Universität, O-6900 Jena, DE

㉒ Erfinder:  
Berthel, Karl-Heinz, Prof. Dipl.-Phys., Dr.sc.nat.,  
O-6900 Jena, DE; Biedermann, Mario, O-4402  
Brehna, DE; Ortmann, Wolfgang, Dipl.-Phys., O-6900  
Jena, DE

㉓ Einstufiger, hochempfindlicher, rauscharmer Tieftemperaturverstärker

㉔ Einstufiger, hochempfindlicher, rauscharmer Tieftemperaturverstärker zur Messung kleiner Ströme und Spannungen, Hauptanwendungsgebiet ist die Tieftemperaturphysik und die Biomedizin. Der Verstärker besteht aus einem gleichstrom- oder gleichspannungsgespeisten Zweikontakt-SQUID mit nachgeschaltetem magnetoresistiven Verstärker. Eine in diesem Verstärker enthaltene Einkoppelspule ist zum SQUID parallel bzw. in Reihe geschaltet. Weiterhin ist mindestens ein weiterer, einen endlichen Widerstand enthaltender Tieftemperaturzweig, der für die Rückkopplung vorgesehen ist, parallel bzw. in Reihe zum SQUID geschaltet und mit mindestens einer Eingangsspule des SQUIDs verbunden.

DE 40 03 060 A 1

Die Erfindung betrifft einen einstufigen, hochempfindlichen, rauscharmen Tieftemperaturverstärker, der zur hochempfindlichen Messung kleiner Ströme und Spannungen bzw. sehr kleiner Magnetfelder genutzt werden kann. Der Anwendungsbereich der Anordnung liegt in der Tieftemperaturphysik und -technik bei der Messung elektrischer und magnetischer Materialeigenschaften sowie der Bestimmung tiefer Temperaturen. In der Biomedizin und der geomagnetischen Prospektion kann mit der Anordnung, die auch mehrkanalig ausgeführt werden kann, eine Messung schwacher Magnetfelder und Magnetfeldverteilungen von Herz und Hirn bzw. des Erdmagnetfeldes, Suszeptibilitäten organischer Stoffe anderer und biologischer Vorgänge, die elektrische oder magnetische Ausgangssignale hervorgerufen, erfolgen.

Verstärker mit einer hochempfindlichen Zweikontakt-SQUID-Eingangsstufe werden in IEEE Trans. on Mag. -17 (1981), M.B. Ketchen und in Physica Volume 126 B + C (1-3) 1-526 (1984) von J. Clarke (S. 441-448) beschrieben. Der magnetische Fluß im SQUID-Ring wird in den bekannten Anordnungen mit einer bestimmten Frequenz variiert. Das Ausgangssignal des SQUID schwingt deshalb ebenfalls mit dieser Frequenz und wird durch ein Eingangssignal an der Einkoppelspule des SQUID amplitudenmoduliert. Die beschriebene Eingangsstufe hat eine periodische Übertragungskennlinie. Zwischen dem SQUID und den bei Zimmertemperatur arbeitenden weiteren Verstärkerstufen befindet sich ein Anpassungskreis, der aus einem Transformator oder einem Schwingkreis besteht. Damit wird eine Impedanzanpassung des geringen SQUID-Ausgangswiderstandes an den höheren Eingangswiderstand einer nachfolgenden Verstärkerstufe realisiert und gleichzeitig die SQUID-Ausgangsspannung auf einen größeren Wert umgesetzt. Danach wird das SQUID-Ausgangssignal phasenempfindlich gleichgerichtet und integriert. Ein der gleichgerichteten und integrierten Spannung proportionaler Strom wird so auf eine Eingangsspule des SQUID zurückgekoppelt; daß er dem eigentlichen Eingangssignal entgegenwirkt und dieses kompensiert. Das SQUID arbeitet so als Nulldetektor und dessen ursprünglicher Arbeitspunkt wird somit nur wenig variiert. Nachteile der beschriebenen Anordnung sind, daß damit nicht die durch das Eigenrauschen des SQUID begrenzte Signalauflösung erreicht wird, und die Rückkopplung zur Stabilisierung des Arbeitspunktes erst nach Durchlaufen der gesamten Signalverarbeitung erfolgt. Eine Verbesserung brachte die Patentschrift DD 2 40 782 A1, Dettmann, Ortmann, deren vorgeschlagene Schaltung aber eine starke Einschränkung der Rückkoppelbandbreite enthält. Ein Arbeiten bei schnell veränderlichen Störsignalen, die eine SQUID-Periode überschreiten, ist nicht möglich. Zur Verzögerung des Rückkoppelsignales tragen die begrenzte Bandbreite des Anpassungskreises und endliche Laufzeiten in der nachgeschalteten Auswerteelektronik bei. Ebenso kann eine Signalzwischenspeicherung für eine Anwendung im Zeitmultiplexbetrieb erst nach der phasenempfindlichen Gleichrichtung erfolgen, so daß die Anzahl der benötigten, identischen Elektronikbaugruppen gleich der Kanalanzahl in Mehrkanalanlagen in dieser Betriebsart ist. Eine stets aktive Gegenkopplung zur Arbeitspunktstabilisierung des SQUID ist unbedingte Voraussetzung zur Anwendung in gestörter Umgebung.

Das Ziel der Erfindung besteht darin, die Anordnung

eines einstufigen, hochempfindlichen, rauscharmen Tieftemperaturverstärkers anzugeben, der eine sichere Funktion bei schnell veränderlichen Störsignalen hoher Amplitude gewährleistet und in einem Zeitmultiplexbetrieb der Einzelkanäle in Mehrkanalanordnungen mit nur einer Auswerteelektronik arbeitet. Bei genügend großer Stabilität der Gegenkopplung können Messungen auch außerhalb magnetisch geschirmter Räume durchgeführt werden. Der technische Aufwand für einen Einsatz in Mehrkanalanlagen ist gegenüber dem bekannten Stand der Technik zu verringern.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die Anordnung eines einstufigen, hochempfindlichen, rauscharmen Tieftemperaturverstärkers anzugeben, bei der die Wirksamkeit der zur Messung bei hohen Störsignalpegeln notwendigen Rückkopplung und Rauschunterdrückung nicht durch Anpassungskreise und Verstärkerstufen verminderter Bandbreite und endliche Signallaufzeiten bzw. frequenzabhängige Phasenverschiebung in der Auswerteelektronik eingeschränkt wird. Die Aufgabe wird dadurch gelöst, daß bei einem einstufigen, hochempfindlichen, rauscharmen Tieftemperaturverstärker aus einem gleichstromgespeisten oder gleichspannungsgespeisten Zweikontakt-SQUID mit nachgeschaltetem, eine Einkoppelspule enthaltenden magnetoresitiven Verstärker erfindungsgemäß die Einkoppelspule des magnetoresitiven Verstärkers zum Zweikontakt-SQUID parallel beziehungsweise in Reihe geschaltet ist und mindestens ein weiterer, einen endlichen Widerstand enthaltender, zur Rückkopplung vorgesehener Tieftemperaturzweig parallel beziehungsweise in Reihe zum Zweikontakt-SQUID mit mindestens einer Eingangsspule des Zweikontakt-SQUID verbunden ist. Es ist zur Impedanzanpassung an das SQUID notwendig, daß die Einkoppelspule des magnetoresitiven Verstärkers einen endlichen Widerstand besitzt. Weiterhin kann der in dem weiteren Tieftemperaturzweig vorgesehene endliche Widerstand veränderlich sein. Zur Veränderung des Widerstandswertes können supraleitende Schalter mit unterschiedlichen kritischen Strömen vorhanden sein und oder thermische, optische, magnetische Steuereffekte genutzt werden. Um die Rückkoppelrate zu verbessern, ist es zweckmäßig, daß in dem zur Rückkopplung vorgesehenen Tieftemperaturzweig, vor dem endlichen Widerstand, Mittelproportionalen und/oder integralen zur Stromverstärkung vorhanden sind. Weiterhin ist es vorteilhaft, daß außer dem zur Rückkopplung vorgesehenen Tieftemperaturzweig ein weiterer, zur Rückkopplung eines von einer Auswerteelektronik eingespeisten Rückkoppelsignals vorgesehener Normaltemperaturzweig, enthalten ist.

Der magnetoresistive Verstärker befindet sich in unmittelbarer Nähe des SQUID und wird mit einem Wechselstrom versorgt. Er kann auch integraler Bestandteil eines den SQUID enthaltenden Hybrid-Schaltkreises sein. Der magnetoresistive Verstärker besteht im wesentlichen aus Einkoppelspule mit endlichem Widerstand und magnetoresistivem Sensor in Brückenform, wobei im speziellen Fall die Einkoppelspule in den Sensor integriert sein kann.

Das vom SQUID-Kreis auszulesende Meßsignal erzeugt durch diese normalleitende Einkoppelspule ein dazu proportionales Magnetfeld, durch das der magnetoresistive Sensor gesteuert wird. Entsprechend der Wechselstromversorgung ist das Ausgangssignal des magnetoresitiven Verstärkers eine Wechselspannung, deren Amplitude proportional zum eingekoppelten Strom durch die Einkoppelspule ist. Der Widerstand der

Einkoppelspule ist an den SQUID-Ausgangswiderstand angepaßt. Der Ausgangswiderstand des magnetoresistiven Verstärkers liegt in der Größenordnung von einigen Kilohm und ist somit an den an den Eingangswiderstand rauscharmer Vorverstärker angepaßt.

Durch die Zwischenschaltung des magnetoresistiven Sensors wird die Impedanzanpassung mit einer geringen Verstärkung durchgeführt. Die amplitudenmodulierte Wechselspannung vom magnetoresistiven Verstärker wird bei Normaltemperatur weiter verstärkt und danach phasenempfindlich gleichgerichtet. Über den Parallelzweig des magnetoresistiven Verstärkers wird nur eine Signalbandbreite bis zur Grenzfrequenz von etwa 1 Kilohertz ausgekoppelt, da die Eingangsspuleninduktivität und der Shuntwiderstand des SQUID einen Tiefpaß bilden. Diese Induktivität hat in Multiplexanlagen signalspeichernden Charakter während der Auslesephase der anderen Kanäle. Für den Multiplexbetrieb in Mehrkanalanordnungen kann der Betriebswechselstrom des einzelnen magnetoresistiven Verstärkers geschaltet werden, um eine Kanalsektion zu erreichen.

Das SQUID wird durch den zweiten Parallelzweig auch bei Multiplexbetrieb ständig gegengekoppelt, um einen Betrieb auch bei hohen, schnellveränderlichen Störsignalamplituden sicher zu gewährleisten. Dieser Parallelzweig muß deshalb möglichst breitbandig sein, um eine hohe frequenzunabhängige Gegenkoppelrate zu garantieren. Diese Bandbreite läßt sich aus dem Widerstandswert und dem Induktivitätswert der verwendeten Einkoppelspule zum SQUID errechnen und beeinflussen.

Bei einer Dimensionierung mit gleichen Widerständen in beiden Parallelzweigen kann jeweils die halbe Änderung des kritischen Stromes des SQUID pro Zweig genutzt werden.

Da die Modulation des SQUID-Meßsignals erst in der Stufe mit dem magnetoresistiven Verstärker erfolgt, können zur Empfindlichkeitssteigerung mehrere SQUID-Vorstufen vorgeschaltet werden, ohne dabei zwischengeschaltete Sieb- und Anpassungsglieder verwenden zu müssen. SQUID-Kreis und Auswerteelektronik sind durch die Verwendung des magnetoresistiven Verstärkers so miteinander gekoppelt, daß nur das Ausgangssignal des SQUID auf die nachfolgende Auswerteelektronik übertragen wird. Von dieser Elektronik eingespeiste Störsignale werden über den magnetoresistiven Verstärker nicht auf den SQUID-Kreis übertragen.

Die Erfindung soll nachfolgend an einem Ausführungsbeispiel näher erläutert werden. In einer Zeichnung ist ein einstufiger, hochempfindlicher, rauscharmer Tieftemperaturverstärker mit nachgeschaltetem magnetoresistiven Verstärker dargestellt. Ein gleichstromgespeistes Zweikontakt-SQUID 2 wird unmoduliert betrieben. Über eine supraleitende Signaleinkoppelspule 1 wird ein zu messendes Signal in den SQUID-Kreis eingekoppelt. Dieses Signal erzeugt durch die SQUID-Funktion einen Strom, der maximal gleich der Änderung des kritischen Stromes am Ausgang des SQUID ist. Dieser Strom wird entsprechend dem Widerstandsverhältnis von normalleitendem Gegenkoppelwiderstand 7 zum normalleitenden Widerstand 4 der Einkoppelspule eines magnetoresistiven Verstärkers 6 aufgeteilt. Ein Teil des Stromes fließt über den normalleitenden Gegenkoppelwiderstand 7 und speist damit einen, dem Eingangssignal entgegengesetzt gerichteten Strom in die Einkoppelspule 1 ein, der zur Kompensation des Ein-

gangssignals dient. Der andere Teil des Stromes fließt über den normalleitenden Widerstand 4 und eine Induktivität 3. Diese beiden Elemente werden durch eine Spule realisiert, die das Eingangssignal des magnetoresistiven Verstärkers 6 erzeugt. Dieser Verstärker wird durch eine Brückenschaltung von gleichartigen magnetoresistiven Widerständen 8 realisiert und durch eine Wechselstromquelle 5 gespeist. Die sinnvolle Übertragung dieses im Ausführungsbeispiel dargestellten Schaltungsprinzips ist, vor allem unter Einbeziehung der in den Unteransprüchen enthaltenen vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung möglich.

#### Patentansprüche

1. Einstufiger, hochempfindlicher, rauscharmer Tieftemperaturverstärker aus einem gleichstromgespeisten oder gleichspannungsgespeisten Zweikontakt-SQUID mit nachgeschaltetem, eine Einkoppelspule enthaltenden magnetoresistiver Verstärker, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Einkoppelspule des magnetoresistiven Verstärkers zum Zweikontakt-SQUID parallel beziehungsweise in Reihe zum Zweikontakt-SQUID angeordnet und mit mindestens einer Eingangsspule des Zweikontakt-SQUID verbunden ist.
2. Tieftemperaturverstärker nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Einkoppelspule des magnetoresistiven Verstärkers einen endlichen Widerstand besitzt.
3. Tieftemperaturverstärker nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der in dem weiteren Tieftemperaturzweig vorgesehene endliche Widerstand veränderlich ist.
4. Tieftemperaturverstärker nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß zur Veränderung des Widerstandswertes supraleitende Schalter mit unterschiedlichen kritischen Strömen vorhanden sind und oder thermische, optische, magnetische Steuereffekte genutzt werden.
5. Tieftemperaturverstärker nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß in dem zur Rückkopplung vorgesehenen Tieftemperaturzweig, vor dem endlichen Widerstand, Mittel zur Stromverstärkung vorhanden sind.
6. Tieftemperaturverstärker nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Mittel zur Stromverstärkung sowohl proportional als auch integral wirkende Mittel sein können.
7. Tieftemperaturverstärker nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß außer dem zur Rückkopplung vorgesehenen Tieftemperaturzweig ein weiterer, zur Rückkopplung eines von einer Auswerteelektronik eingespeisten Rückkopplungssignals vorgesehener Normaltemperaturzweig enthalten ist.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

